



Aalborg Universitet

AALBORG UNIVERSITY  
DENMARK

## Lufthastighed langs gulvet i et lokale med vægmonteret armatur og fortrængningsventilation

Nielsen, Peter V.

*Publication date:*  
1990

*Document Version*  
Også kaldet Forlagets PDF

[Link to publication from Aalborg University](#)

*Citation for published version (APA):*  
Nielsen, P. V. (1990). *Lufthastighed langs gulvet i et lokale med vægmonteret armatur og fortrængningsventilation*. Institut for Bygningsteknik, Aalborg Universitet. Gul Serie Bind R9004 Nr. 5

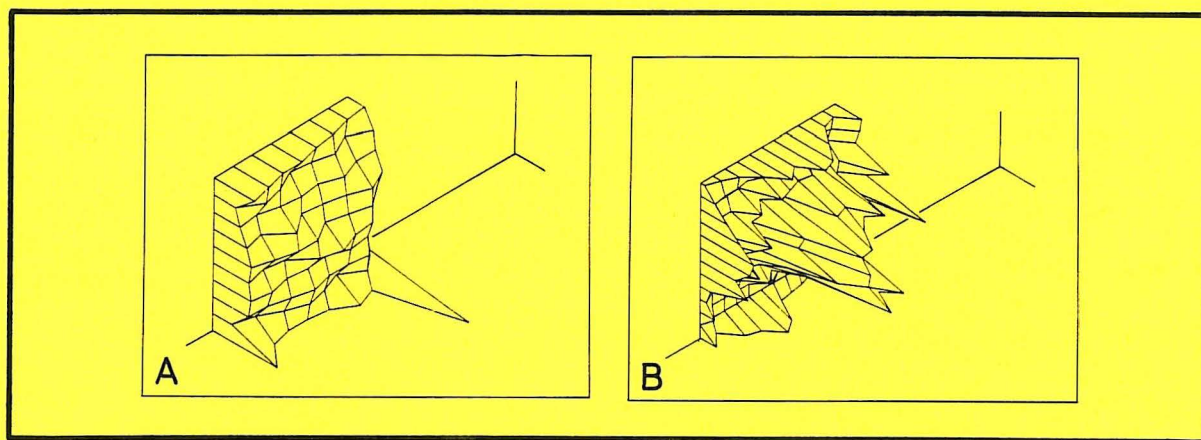
### General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- ? Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- ? You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- ? You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal ?

### Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at [vbn@aub.aau.dk](mailto:vbn@aub.aau.dk) providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.



Indlæg ved Nordisk Ventilationsgruppes årsmøde, Oslo, Marts 1990

---

PETER V. NIELSEN  
LUFTHASTIGHED LANGS GULVET I ET LOKALE MED VÆG-  
MONTERET ARMATUR OG FORTRÆNGNINGSVENTILATION  
MARTS 1990

---

ISSN 0902-7513 R9004



Indlæg ved Nordisk Ventilationsgruppes årsmøde, Oslo, Marts 1990

---

**PETER V. NIELSEN**  
**LUFTHASTIGHED LANGS GULVET I ET LOKALE MED VÆG-**  
**MONTERET ARMATUR OG FORTRÆNGNINGSVENTILATION**  
**MARTS 1990** **ISSN 0902-7513 R9004**

---

# LUFTHASTIGHED LANGS GULVET I ET LOKALE MED VÆGMONTERET ARMATUR OG FORTRÆNGNINGSVENTILATION

Peter V. Nielsen, Aalborg Universitetscenter

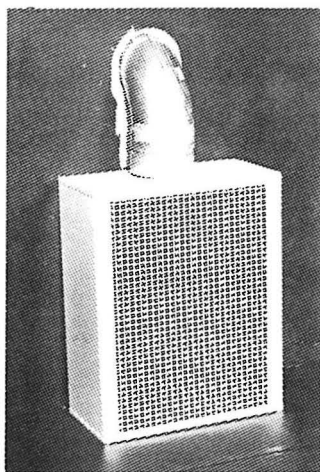
## Indledning

Luften fra vægmonterede lavimpulsarmaturer strømmer ved fortrængningsventilation direkte ind i opholdszonen. Det er derfor vigtigt at kunne bestemme den lufthastighed, der opstår i forskellig afstand fra armaturet for at fastlægge den termiske komfort i lokalet.

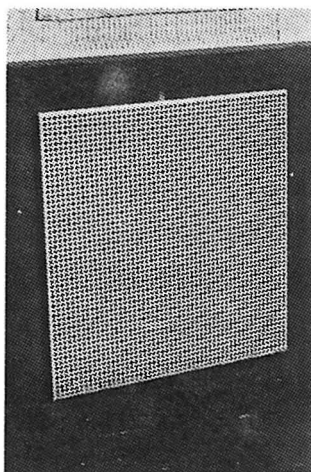
I det følgende viser en række målinger på tre forskellige armaturer nogle karakteristiske forhold ved strømmingen. Med udgangspunkt i en dimensionsanalyse opstilles der et relativt enkelt formelsystem, som giver en kvantitativ beskrivelse af denne strømning.

## Målinger på hastighedsfeltet foran et vægmonteret armatur

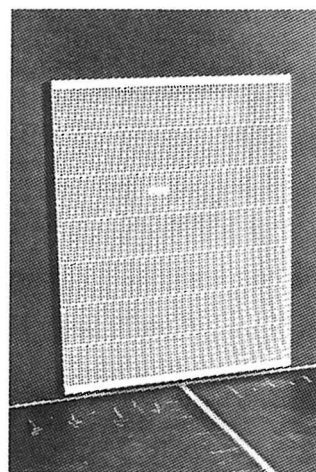
Målingerne, der er beskrevet i denne rapport, er udført på tre forskellige armaturer kaldet armatur A, armatur B og armatur D.



A



B



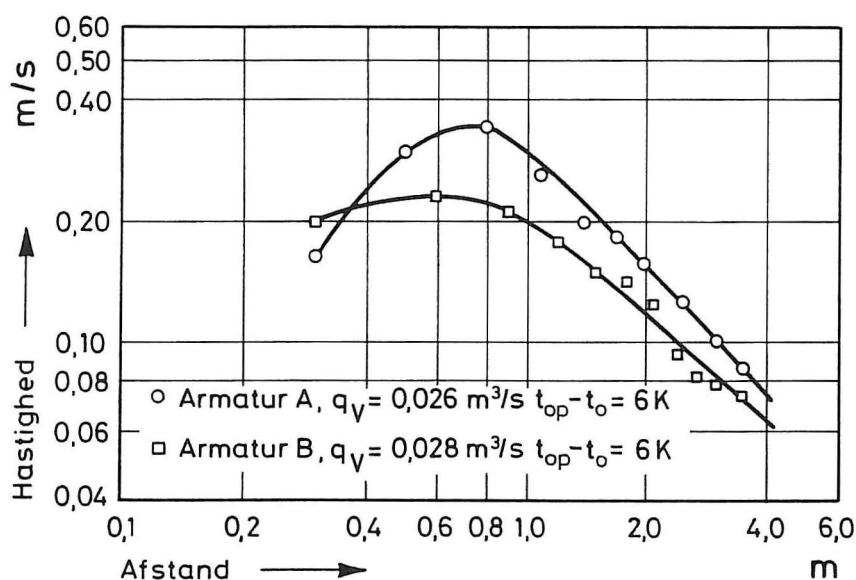
D

Figur 1. Tre vægmonterede lavimpulsarmaturer til fortrængningsventilation. De tre armaturer har forskellig induktionsgrad.



Figur 1 viser de tre armaturer. Armatur A har dimensionen 500 mm × 400 mm, armatur B 580 mm × 500 mm og armatur D 700 mm × 520 mm, hvor dimensionen angiver højden gange bredden.

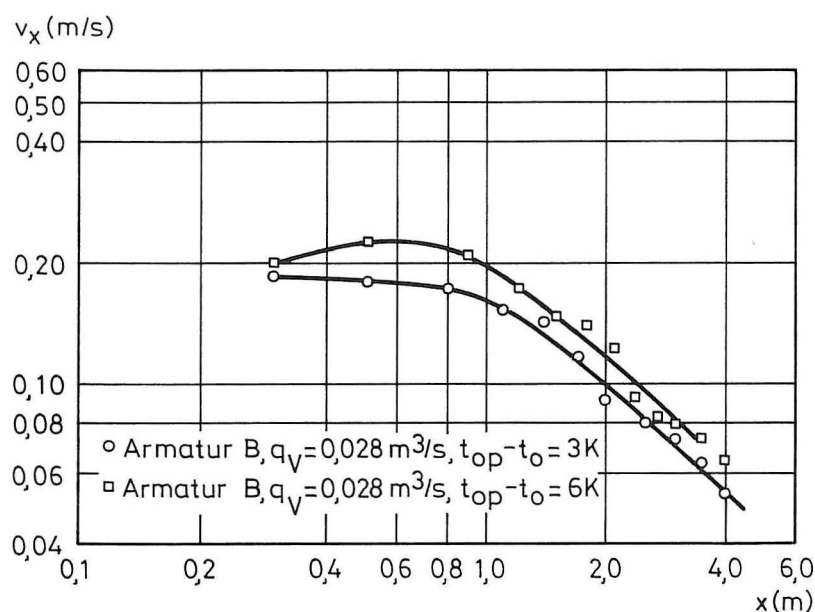
Armatur A har et meget ensartet hastighedsprofil foran indblæsningsfladen og en lille induktionsgrad. Det er tilstræbt at opnå en stor induktionsgrad ved armatur B ved at danne et indblæsningsprofil med en stor variation både i størrelse og retning. Armatur D er forsynet med en indbygget induktion, der suger luft ind fra rummet på de øverste 180 mm af armaturet. Indblæsningsmængden til lokalet er derfor forøget med en faktor på 2,5 i forhold til den luftmængde  $q_V$ , der forsyner armaturet.



Figur 2. Hastighedsfaldet i strømmingen langs gulvfladen fra de to armaturer type A og B. Reference [1].

Figur 2 viser hastighedsfaldet i strømmingen langs gulvfladen fra de to armaturer type A og B. Begge armaturer har nogenlunde lige store indblæsningsarealer  $A_o$ . Det ses, at en lille induktion resulterer i en kraftig forøgelse af den indblæste luft på grund af tyngdekraftens virkning på den kolde luft. Luften accelereres til en hastighed på 0,34 m/s i en afstand af 0,8 m fra armaturet. Armatur B har en stor induktion, og den spreder strømmingen ud over en vinkel på 180°. Derfor accelereres strømmingen kun til en hastighed på 0,23 m/s, og der opnås alt i alt et lavere hastighedsniveau i hele strømmingens forløb, som det også fremgår af figur 2.

For begge armaturer gælder, at den maksimale hastighed forekommer fra 2 til 5 cm over gulvet.

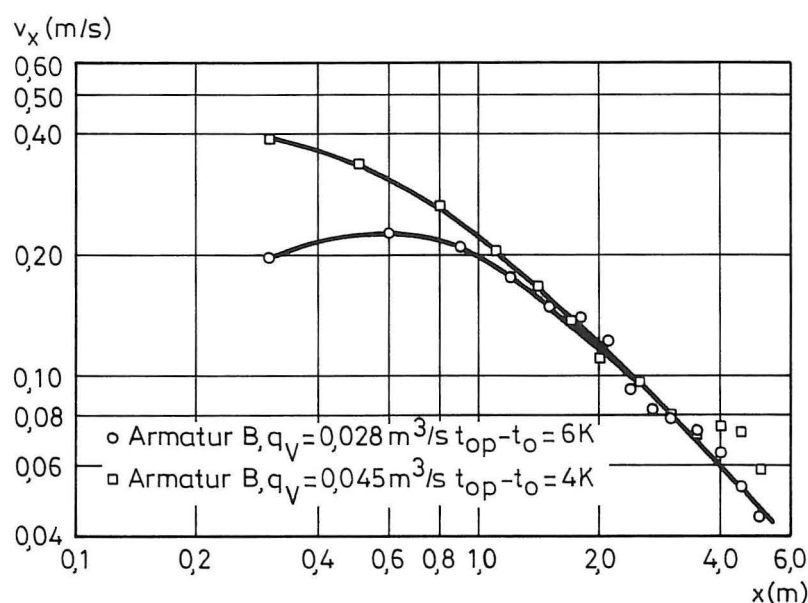


Figur 3. Strømningen fra et armatur ved to forskellige indblæsningstemperaturer og samme volumenstrøm. Reference [2].

Lufthastigheden fra et lavimpulsarmatur er kraftigt påvirket af indblæsningstemperaturen. Figur 3 viser, hvorledes hastighedsniveauet stiger ved en forøgelse af temperaturdifference  $t_{op} - t_o$  for et armatur med konstant volumenstrøm. Et forøget hastighedsniveau tæt ved armaturet ( $\sim 0,6$  m) bibeholdes i strømningens videre forløb.

Ved de armaturtyper hvor både indblæsningstemperatur og volumenstrøm har indflydelse på hastigheden langs gulvfladen, kan der opstå den specielle situation, at en reduktion af volumenstrømmen  $q_V$  ikke nødvendigvis fører til en reduktion af lufthastigheden, som det fremgår af figur 4. I den givne situation, hvor armaturet anvendes ved konstant termisk belastning, vil en reduktion af volumenstrømmen resultere i en forøget temperaturdifference  $t_{op} - t_o$ . Denne temperaturdifference vil accelerere strømningen, så hastighedsniveauet bibeholdes.

Hastighedsforløbet, der er vist på figur 2, 3 og 4, er sandsynligvis noget afhængig af rumdimensionerne især for  $x > 3$  m. Målingerne på armaturerne er udført i et lokale, der har bredden 3,6 m og længden 5,4 m.



Figur 4. Hastighedsforløb i strømning fra armatur ved konstant termisk belastning og forskellig volumenstrøm. Reference [2].

### Kvantitativ beskrivelse af strømningen

Målinger på strømningen fra et vægmonteret armatur viser, at maksimalhastigheden  $v_x$  i afstanden  $x$  fra armaturet kan beskrives ved en ligning af typen, reference [1],

$$\frac{v_x}{v_o} = K' \left( \frac{\sqrt{A_o}}{x} \right)^n \quad (1)$$

hvor  $K'$  er en karakteristisk størrelse for et armatur, som er en entydig funktion af Arkimedes' tal,  $Ar$ . Målinger viser, at eksponenten  $n$  ofte har en størrelse, der er tæt ved værdien 1,0.

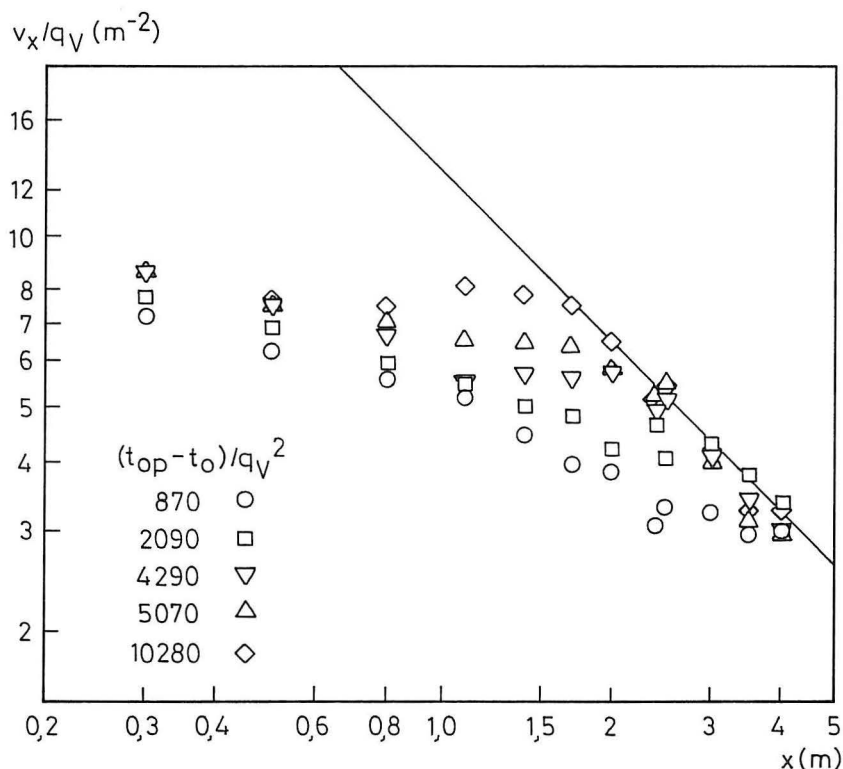
Strømningen fra et armatur løber ud over gulvfladen i et radiale mønster med en vinkel  $\theta$ , der eventuelt forøges med størrelsen af Arkimedes' tal,  $Ar$ , reference [1], [2] og [3]. Profilet har en ensartet form i forskellig afstand fra armaturet, og da der er tale om en termisk lagdelt strømning, foregår der kun begrænset opblanding med den luft, der ligger over profilet, som det er vist ved målinger af Mathisen [4]. (Reference [4] viser dog, at det især er ved to-dimensional strømning, at opblandingen er lille).

Hvis man betragter et vinkeludsnit  $\Delta\theta$  i denne kolde strømning langs gulvfladen og forudsætter ensartede profiler i forskellige afstande, vil volumenstrømmen være proportional med  $v_x x \Delta\theta$ . Hvis der ingen opblanding foregår med den luft, der ligger over det kolde lag, vil hastigheden  $v_x$  således være proportional med  $1/x$ .



Denne simplificerede beskrivelse af forholdene underbygger måleresultaterne, som viser at  $n \sim 1,0$ . Det kan derfor være rimeligt at bruge følgende ligning

$$\frac{v_x}{v_o} = K' \frac{\sqrt{A_o}}{x} \quad (2)$$



Figur 5. Hastighedsforløbet i strømmingen fra armatur D ved forskellig Arkimedes tal. Reference [5].

Ved praktisk beskrivelse af strømmingen fra et armatur kan det være hensigtsmæssigt at arbejde med volumenstrøm  $q_V$  i stedet for størrelserne  $v_o$  og  $A_o$ . Appendikset viser, at ligning (2) kan skrives som

$$\frac{v_x}{q_V} = K \frac{1}{x} \quad (3)$$

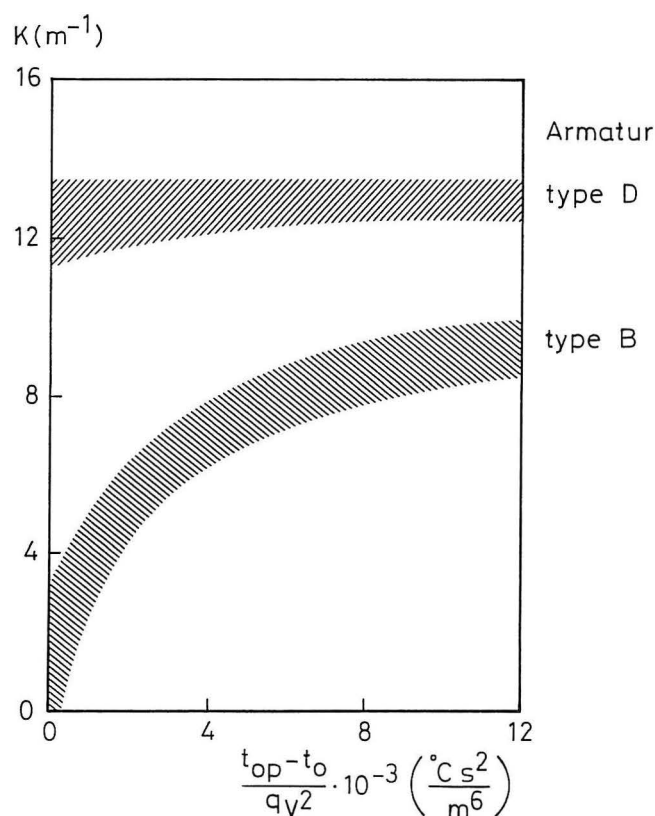
hvor

$$K = \text{funk}\left(\frac{t_{op} - t_o}{q_V^2}\right) \quad (4)$$

Da ligning (3) og (4) ikke er dimensionsløse, skal størrelserne  $K$ ,  $t$ ,  $v_x$ ,  $x$  og  $q_V$  anvendes med dimensionerne  $\text{m}^{-1}$ ,  $^{\circ}\text{C}$ ,  $\text{m/s}$ ,  $\text{m}$  og  $\text{m}^3/\text{s}$ .

Den radiale strømning langs gulvfladen kan måske få en mere præcis beskrivelse ved at erstatte  $x$  med  $x + x_o$  i ligning (3), hvor  $x_o$  angiver afstanden fra armatur til det punkt, der er det tilsyneladende centrum for den lagdelte strømning.

Figureerne 2, 3 og 4 viser, at det hastighedsforløb, der er beskrevet i ligning (3), først er opfyldt for  $x \geq 1-1,5$  m. Figur 5 viser hastighedsforløbet fra armatur D som funktion af Arkimedes' tal. Det ses, at en ligning af typen (3) beskriver strømningen for  $x \geq 1,5$  m ved store Arkimedes tal, medens hastighedsforløbet i store områder ( $x < 2-3$  m) ligger under de værdier, der beskrives med ligning (3) ved små Arkimedes tal.



Figur 6.  $K$  som funktion af  $(t_{op} - t_o)/q_v^2$  for forskellige armaturer.

Figur 6 viser en beskrivelse af  $K$ -værdien for armatur B og armatur D. Sammen med ligning (3) giver figur 6 en enkelt beskrivelse af hastighedsforløbet fra et armatur.

Hvis et armatur B anvendes med en volumenstrøm  $q_v$  på  $0,028 \text{ m}^3/\text{s}$  og en temperaturdifferens  $t_{op} - t_o$  på  $3^\circ\text{C}$ , giver figur 6 en  $K$ -værdi på  $7,2 \text{ m}^{-1}$ . Hastigheden i fx afstanden 2 m fra armaturet bliver således  $0,1 \text{ m/s}$  (ligning (3)).

Armatur D har et højere niveau på  $K$ -værdien, men denne forskel udjævner sig, fordi armaturet anvender indre induktion. Hvis armatur D skal fjerne den tilsva-

rende termiske belastning som armatur B, anvendes der fx den halve volumenstrøm og den dobbelte temperaturdifferens. For  $q_V = 0,014 \text{ m}^3/\text{s}$  og  $t_{op} - t_o = 6^\circ\text{C}$  bliver  $K \sim 13 \text{ m}^{-1}$ . Dette giver efter ligning (3) en hastighed på  $0,09 \text{ m/s}$   $2 \text{ m}$  foran armatur D.

I princippet kan størrelsen  $K$  for visse armaturer være påvirket lidt af volumenstrømmens størrelse  $q_V$  på grund af lavturbulent effekt. Det har dog ikke været muligt at påvise dette ved de målinger, der hidtil er udført, reference [1], [2], [3] og [5]. Skulle denne effekt være til stede ved et armatur med lave volumenstrømme, er den viste beskrivelse dog stadig interessant. Man skal blot bestemme  $K$ 's afhængighed af  $Ar$  for en passende middelværdi af  $q_V$ , da der er grænser for hvor meget  $q_V$  varierer ud fra denne værdi ved et praktisk valg af armatur.

Alle målinger er udført i samme lokale, så det har ikke været muligt at fastlægge en eventuel indflydelse fra lokalets dimensioner. Da armaturet har en rimelig størrelse i forhold til lokalets længde og bredde, kan det konkluderes, at armaturet er afprøvet under forhold, der er tæt ved de dimensioner, et armatur skal dække i praksis, og de fundne resultater kan derfor danne grundlag for en dimensioneringsmetode.

Praktiske erfaringer fra ventilationsindustrien tyder på, at lokaledimensionen er af mindre betydning [6].

### Isotermisk strømning fra et vægmonteret armatur til fortrængningsventilation

I tilfælde af isotermisk strømning gælder den almindelige formel for en cirkulær vægstråle, se reference [7]

$$\frac{v_x}{v_o} = \sqrt{2} C_c \frac{\sqrt{A_o}}{x} \quad (5)$$

hvor  $C_c$  er en konstant for armaturet. (Det forudsættes, at armaturet danner en fremadrettet tre-dimensional vægstråle, samt at afstanden  $x$  ligger uden for kernezonen). Ligning(5) kan omskrives til

$$\frac{v_x}{q_V} = \frac{\sqrt{2} C_c}{\sqrt{A_o}} \frac{1}{x} \quad (6)$$

da  $q_V = v_o A_o$ .

Det ses således, at

$$K \rightarrow \sqrt{2} C_c / \sqrt{A_o} \quad \text{for} \quad t_{op} - t_o \rightarrow 0 \quad (7)$$

Kurven for armatur B viser, at  $K \rightarrow 0$  for  $t_{op} - t_o \rightarrow 0$ , hvilket svarer til, at dette armatur ikke giver en strømning, der gennemskyller rummet ved isotermisk indblæsning.

Mathisen [4] har vist, hvorledes det er muligt at beskrive  $v_x/v_o$  i en given afstand ved

$$\frac{v_x}{v_o} = k_1 + k_2 \sqrt{Ar} \quad (8)$$

eller

$$\frac{v_x}{q_V} = \frac{k_1}{A_o} + \frac{k_2}{A_o} \sqrt{Ar} \quad (9)$$

Hvis den valgte afstand  $fx$  er 2 m, gælder det ud fra ligning (3), at

$$K = \frac{2k_1}{A_o} + \frac{2k_2}{A_o} \sqrt{Ar} \quad (10)$$

Det er muligt at beskrive kurver af den type, der er vist på figur 6 ved ligning (10), og  $K$  er lig  $2k_1/A_o$  ved isothermisk strømning. Ligningerne (6), (7), (9) og (10) gælder dog ikke umiddelbart for et armatur med indre induktion, som armatur D, da  $q_V$  i dette tilfælde ikke er lig  $v_o A_o$ .

### Konklusion

Målinger på tre forskellige vægmonterede lavimpulsarmaturer til fortrængningsventilation viser, hvorledes den maksimale lufthastighed langs gulvfladen er en funktion af både volumenstrøm og temperaturdifferens. Ved større afstand fra armaturerne er lufthastigheden nogenlunde omvendt proportional med afstanden fra armaturet, og hastighedsniveauet er en funktion af volumenstrøm, temperaturdifferens og armaturtyper. Den nævnte strømningstilstand opstår i en afstand af 1 til 1,5 m fra armaturet ved større Arkimedes tal.

### Symbolliste

$A_o$	Indblæsningsareal	$m^2$
$A_k$	Kanaltværsnit	$m^2$
$Ar$	Arkimedes' tal	
$C_c$	Konstant for cirkulær vægstråle	
$k_1, k_2$	Konstanter i et udtryk for maksimalhastigheden i strømningen fra et armatur	
$K$	Funktion i udtryk for hastighedsfaldet i strømningen fra et armatur	$m^{-1}$
$K'$	Funktion i udtryk for hastighedsfaldet i strømning fra et armatur	

$\ell$	Referencelængde	m
$n$	Eksponent	
$q_V$	Volumenstrøm	m <sup>3</sup> /s
$t$	Tempertur	°C
$t_o$	Indblæsningstemperatur	°C
$t_{op}$	Temperatur i opholdszonen (1,1 m's højde)	°C
$v$	Lufthastighed	m/s
$v_k$	Middelhastighed i kanal	m/s
$v_o$	Indblæsningshastighed	m/s
$v_x$	Maksimalhastighed ved gulvet i afstanden $x$ m	
$x, y, z$	Koordinater	m
$x_o$	Afstand fra armatur til centrum for strømningen langs gulvet	m
$\theta$	Strømningens udbredelsesvinkel over gulvfladen	rad
$\Delta\theta$	Vinkeludsnit	rad

Dimensionsløs variabel angives ved \*.

$f_1()$  og  $f_2()$  er symboler for funktioner.

## Referencer

- [1] Nielsen, P.V., L.Hoff og L.G. Pedersen,  
Displacement Ventilation by Different Types of Diffusers,  
9th AIVC Conference, Gent, 1988.
- [2] Hoff, L. og L.G. Pedersen,  
Privat kommunikation, Aalborg Universitetscenter, 1987.
- [3] Nielsen, P.V.,  
Displacement Ventilation in a Room with Low-Level Diffusers,  
Kälte-Klima-Tagung, Deutscher Kälte- und Klimatechnischer Verein e.V.,  
München, 1988.

- [4] Mathisen, H.M.,  
Analysis and Evaluation of Displacement Ventilation,  
Doktor Ingeniøravhandling 1989:31, Institutt for Varme-, Ventilasjons- og  
Sanitærteknikk, NTH, Trondheim, 1989.
- [5] Bakmann, U., B. Bukh, L.J. Eskildsen, J.O. Jensen og C. Jespersen,  
Privat kommunikation, Aalborg Universitetscenter, 1990.
- [6] Laurikainen, J.,  
Privat kommunikation, Halton, Kausala, 1990.
- [7] Nielsen, P.V.,  
Luftfordeling i rum. Afsnit i Varme- og Klimateknik, Redaktion: H.E.  
Hansen, P. Kjerulf-Jensen og O.B. Stampe, Danvak, København, 1987.



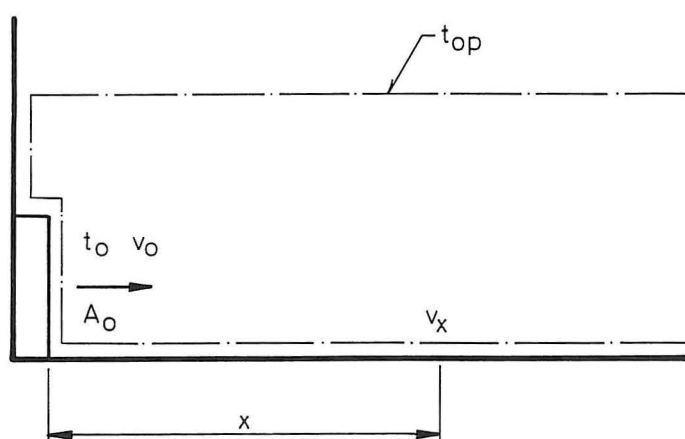
## Appendiks

### Dimensionsløs beskrivelse af strømningen

Strømningsligningerne gøres dimensionsløse ved at danne bl.a. følgende variable, se figur A1.

$$v_x^* = \frac{v_x}{v_o} \quad , \quad x^* = \frac{x}{\sqrt{A_o}} \quad , \quad t^* = \frac{t - t_o}{t_{op} - t_o} \quad (A1)$$

Den valgte referencelængde åbner mulighed for at sammenligne forskellige armaturer med forskellig størrelse, hvis de har et ligedannet hastighedsprofil  $v_o(y, z)$ .

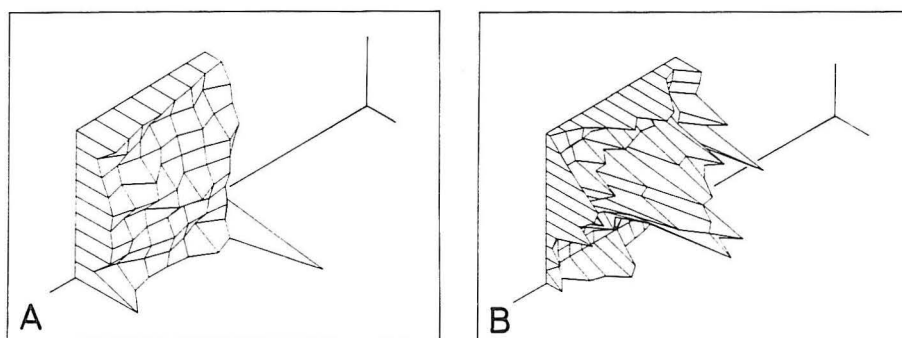


Figur A1. Randværdier og løsningsfelt.

$t_{op}$  er temperaturen i højden 1,1 m. Det forudsættes, at denne værdi er uafhængig af  $x$ , så målepunktet ikke skal flyttes ved brug af forskellige referencelængder  $\sqrt{A_o}$ .

$v_o$  er middelværdien af indblæsningshastigheden. Variationen af  $v_o(y, z)$  er med til at beskrive randværdierne, og derfor er der forskellige løsninger for  $v_x^*$  for de to armaturer A og B, selv om størrelserne  $v_o$ ,  $\sqrt{A_o}$ ,  $x$  og  $t_{oc} - t_o$  er identiske, se figur A2.

Modellovene viser, at strømningen i løsningsfeltet er entydigt beskrevet med randværdierne, og at strømningen er en funktion af  $Ar$ ,  $Re$  og  $Pr$ . I praksis regnes der med højturbulent strømning, og der ses bort fra variationer i Reynolds' tal,  $Re$ , samt Prandtls tal,  $Pr$ , se reference [3].



Figur A2. Hastighedsfordelingen  $v_o(y, z)$  for armatur A og B.

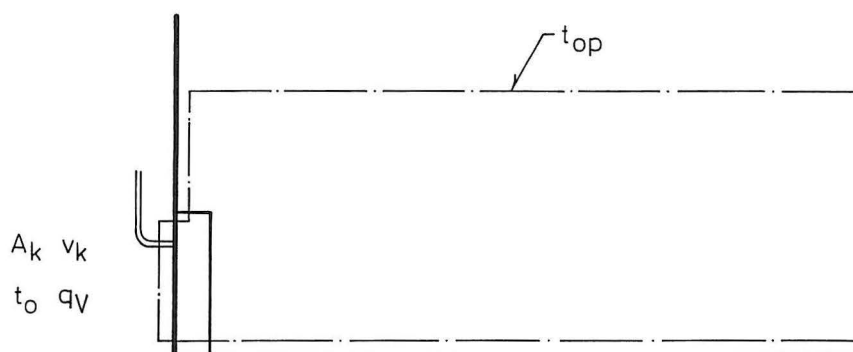
Målinger viser, at  $v_x$  falder eksponentielt med afstanden  $x$  fra armaturet, og at den er en funktion af Arkimedes' tal,  $Ar$ , se reference [1]. Hvis disse forhold beskrives ved de dimensionsløse størrelser, fås

$$v_x^* = f_1(Ar) \left( \frac{1}{x^*} \right)^n \quad (A2)$$

eller

$$\frac{v_x}{v_o} = f_1(Ar) \left( \frac{\sqrt{A_o}}{x} \right)^n \quad (A3)$$

Figur A3 viser en alternativ placering af randværdierne, der betyder, at strømmingen inde i armaturet regnes med til løsningsfeltet, således at de konstruktive detaljer i armaturet indgår som geometriske randværdier.



Figur A3. Randværdier og løsningsfelt i det tilfælde strømmingen inde i armaturet regnes med i analysen.

Hastighederne normeres i det nye løsningsfelt med kanalhastigheden  $v_k$  og længden med en valgt referencelængde  $\ell$ .

$$v_k^* = \frac{v_x}{v_k} \quad (A4)$$

$$x^* = \frac{x}{\ell} \quad (A5)$$

Ligning (A3) får således formen

$$\frac{v_x}{v_k} = f_2(Ar) \left(\frac{\ell}{x}\right)^n \quad (A6)$$

Man vælger at bruge denne ligning som grundlag for en generel ligning for strømmingen langs gulvfladen foran et armatur. Det forudsættes først, at der anvendes en fast referencelængde på  $\ell = 1$  m, og der arbejdes kun i én skala, nemlig naturlig størrelse som den er i fuldskalarummet. Dernæst forudsættes det, at  $n \sim 1,0$ , og begge sider af ligningen divideres med kanalarealet.

$$\frac{v_x}{q_V} = K \frac{1}{x} \quad (A7)$$

hvor  $K$  er en funktion af  $(t_{op} - t_o)/q_V^2$ , dvs.

$$K = f_2\left(\frac{t_{op} - t_o}{q_V^2}\right) \beta g A_k^2 l / A_k$$

Funktionen  $K$  er entydig givet for hvert armatur, og den er afhængig af det valgte enhedssystem, da leddene i ligning (A7) ikke er dimensionsløse.

Ligning (A7) kan også opstilles ved at dividere ligning (A3) med det effektive indblæsningsareal  $A_o$  på begge sider af lighedstegnet, hvis der er tale om et armatur uden indre induktion. Udledningen af formelsystemet ud fra randværdiplaceringen på figur A3 svarer dog til den praktiske procedure, hvor man ved målingerne helt ser bort fra indblæsningshastighed og effektivt indblæsningsareal og nøjes med at bestemme volumenstrømmen  $q_V$ , uafhængigt af om armaturet er med eller uden indre induktion.



